

計算科学技術部会セッション

シミュレーションの信頼性確保に関する取り組みの現状と課題

Credibility Assessment of Nuclear Simulations: State of the art

(1) シミュレーションの信頼性確保に関するガイドラインの発行

(1) Publication of the AESJ Guideline for Simulation Credibility Assessment

中田 耕太郎¹¹ (株) 東芝

(2) シミュレーションの信頼性確保に関するガイドラインへの期待

(2) Expectations for the AESJ Guideline for Simulation Credibility Assessment

白鳥 正樹²²横国大

(3) シミュレーションの信頼性確保に関する国内外の取り組みの現状と課題

(3) Issues and Challenges for Simulation Credibility Assessment

田中 正暁³³原子力機構

0. はじめに

国内外において V&V の重要性および必要性が広く認識され、シミュレーションの信頼性の確保に関わるガイドラインや標準を作成する動きが活発になっている。2016年7月に日本原子力学会から「シミュレーションの信頼性に関するガイドライン：2015」（原子力学会ガイドライン）が発行された。これは、シミュレーションの信頼性の確保に関する重要性が高まる状況に鑑み、モデル V&V（Verification and Validation）に基づいて、不確かさを考慮した予測評価、品質管理を加えたモデリング&シミュレーションの方法論の考え方をまとめたものである。本セッションでは、原子力学会ガイドラインの発行に係る活動の概説と期待、そして他分野における国内外における活動の現状等について議論する。

1. 「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン：2015」の発行

日本原子力学会では、標準委員会 基盤応用・廃炉技術専門部会の下、2012年にシミュレーションの信頼性分科会を設立、幅広い原子力技術分野への適用性の検討を行いながら、モデリング&シミュレーション（M&S）による技術基盤として、不確かさや予測性を考慮したシミュレーションの信頼性評価手法の考え方を審議した。これらは「シミュレーションの信頼性に関するガイドライン：2015」としてまとめられ、2016年7月15日に発行した。シミュレーション技術は、計算機性能の急速な向上とともに、大きく進歩する一方、計算機シミュレーションのプロセスや結果を確認するための手法の確立が喫緊の課題となっていた。日本原子力学会の東電福島第一発電所事故報告書では、自然現象の複雑さと我々が持つ知見の限界を認識し、シミュレーション技術の検証により適切に運用すること、同事故に対するシミュレーションの不確かさが大きなことからシミュレーション技術の向上へ新たな知見を収集する取組の必要性が提言されている。このような諸課題を着実に解決して行くためには、モデル V&V（Verification and Validation）の考え方に基づいて、モデリング及び予測における不確かさの定量化及びその低減に資する客観的な方法論

Korato Nakada¹, Masaki Shiratorii², and Masaaki Tanaka³¹Toshiba Corporation, ²Yokohana National University, and ³Japan Atomic Energy Agency

の枠組みを構築し活用することが必要である。本ガイドラインは、現象のモデリングに焦点を当てたシミュレーションの信頼性確保のための方法論の考え方を示している。シミュレーションモデルの予測性能が要求を満たすか否かを判断する基本手順として、図1に示すように、「概念モデルの開発」「数学モデル化」「物理的モデル化」「シミュレーションモデルの予測性能判断」の4つの要素（エレメント）が構成されている、さらに、「不確かさを考慮した予測評価」「評価プロセスの文書化」「品質管理」の3つの要素を追加しモデル V&V に必要とされる要件を完備している。「シミュレーションの信頼性に関するガイドライン：2015」の講習会を実施し、シミュレーションの信頼性確保のための方法論の考え方の普及活動も進めている。

2. 「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン：2015」への期待

特別講師として、日本計算工学会に設置された「シミュレーションの品質・信頼性にかかわる調査・研究」研究分科会（HQC 研究分科会）において3期6年間にわたり主査を務められた横浜国立大学名誉教授白鳥 正樹 先生をお迎えし、これまでの先生のご活動を通じた幅広くかつ高い視点から、原子力学会ガイドラインに対するご期待やご意見を頂く。先生は、HQC 研究分科会設立以前の早くから「今、なぜ解析の品質か」(1) との工学シミュレーションにおける品質保証の重要性を指摘され、日本独自の品質保証の仕組みづくりの必要性を提言されてきた(2, 3)。また、長年のご尽力により日本計算工学会から、ISO9001に基づく解析業務の品質管理標準である「工学シミュレーションの品質マネジメント（HQC001）」、「工学シミュレーションの標準手順（HQC002）」、その事例集（HQC003）が発行されている。品質管理に関する活動は原子力学会ガイドラインと密接な関係がある。原子力学会ガイドライン本文3.7節において、品質管理に言及しており、図1に示すように、エレメント1からエレメント4の各手順と、不確かさを考慮した予測評価及び評価プロセスの文書化は、いずれも優れた品質管理の下で実施し、これに十分な文書及びその一部としての品質記録を作成することが重要としている。また、附属書（参考）A.6章に品質管理システムについての説明が加えられ、解析者、コード開発者、実験者及び全体設計者の緊密な連携体制を構築することの重要性、さらに技術者の力量管理の重要性に言及するとともに、日本計算工学会の標準は参考文献として挙げられている。

3. 国内外の取り組みの現状と課題

原子力分野におけるシミュレーションの信頼性確保の重要性から、日本原子力学会からは、最適評価コードと不確かさの影響を考慮する安全評価手法として「統計的安全評価の実施基準：2008」、環境影響評価において V&V の考え方を取り入れた「発電用原子炉施設の安全解析における放出源の有効高さを求めるための数値モデル計算実施基準：2011」、原子力分野での幅広い技術分野に共通する V&V の考え方を規定した「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン：2015」などが発行されている。この他、原子炉施設の解析業務に係るガイドライン(4, 5)が発行され、原子炉施設の安全性評価の過程において実務の面で重要な位置付けにある。また、海外においては、米国原子力学会（ANS）、経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）、国際原子力機関（IAEA）においてガイドラインの整備が進められている。特に米国原子力規制委員会（USNRC）では、原子力システムの安全評価における活発な活動が行われ、現在では重要な評価手法（ツール）として広く知られている CSAU や EMDAP、PIRT などが整備されてきた。また、米国機械学会（ASME）では、固体計算力学（V&V-10）および計算流体力学と伝熱（V&V-20）に関するガイドラインが発行され、様々な分野での V&V 実装において広く参照されている他、「原子力システムにおける熱流動挙動のシミュレーション（V&V-30）」をはじめ、医療機器（V&V-40）、先端製造技術

(V&V-50) およびエネルギー機器 (V&V-60) に関するガイドラインの整備も進められている。国内においては、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) からソフトウェア独立検証と有効性確認 (Independent Verification and Validation : IV&V) についてまとめた冊子 (「虎の巻」) (6) が発行されている他、日本土木学会応用力学委員会において「土木分野の数値解析における V&V に関する小委員会」(委員長: 徳島大学 渦岡教授) (7) が設置され、V&V に関する活発な議論が行われている。また、特定非営利活動法人・非線形 CAE 協会において「CAE におけるベリフィケーションとバリデーション (VV)」をテーマとした勉強会が 2004 年の早い時期に開催されている (8)。このように、様々な分野において V&V は重要な位置づけとして捉えられており (9, 10)、シミュレーションの信頼性確保に係る V&V の重要性および必要性について広く認識されている。そこで、様々な分野での活動を概説し、「シミュレーションの信頼性確保」のために必要な V&V の実装・実施に係る現状と課題について考える。

参考文献

- (1) 白鳥、「今、なぜ解析の品質か」、日本機械学会第 16 回計算力学講演会論文集 [No.03-26]、2003 年 11 月 22 日～24 日、神戸市 (2003)、pp. 731～732.
- (2) 白鳥、中村、越塚、他、「パネルディスカッション報告 シミュレーションの品質保証と現実問題への適用」日本計算工学会誌、Vol.14、No.4 (2009)、pp.37～45.
- (3) 日本学術会議 総合工学委員会・機械工学委員会合同 計算科学シミュレーションと工学設計分科会 報告「ものづくり支援のための計算力学シミュレーションの品質保証に向けて」(2011/04/28) www.sej.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-h123-2.pdf.
- (4) (一社) 日本電気協会、「原子力安全のためのマネジメントシステム規程」、JEAC4111-2013 (2013)、「原子力発電所における安全のための品質保証規程(JEAC4111-2009)の適用指針 -原子力発電所の運転段階-」JEAG4121-2009 [2013 年追補版] (2013).
- (5) (一社) 原子力安全推進協会、「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン」、JANSI-GQA-01-第 2 版 (2013).
- (6) 宇宙航空研究開発機構、「IV & V ガイドブック 虎の巻」、JAXA-SP-12-016 (2013).
- (7) 土木学会応用力学委員会 活動報告 (<http://www.jsce.or.jp/committee/amc/report.html>).
- (8) 非線形 CAE 協会「CAE のためのバリデーション・ベリフィケーション(VV)」、第 6 期非線形 CAE 勉強会、2004 年 11 月 27 日～28 日、http://www.jancae.org/study/06/03_03.html&03_04.html.
- (9) 中田、工藤、田中、「解析コード V&V の現状と実施例」、日本原子力学会 2015 年春の年会、2015 年 3 月 20～22 日、日立市 (茨城大学) (2015)、TN21.
- (10) 越塚ら、「特集 V&V の最近の進展」、日本計算工学会誌「計算工学」、Vol. 21、No.3 (2016).

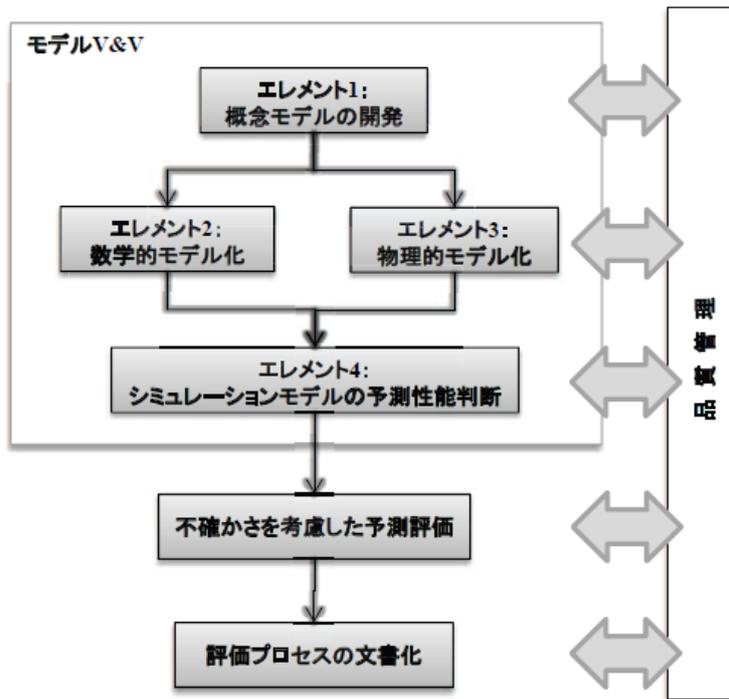


図1 モデリング&シミュレーションの流れ及び品質管理との関係
(原子力学会ガイドラインより抜粋)